

Rec'd PCT/PTO 06 MAY 2005

101534101

21.1034 42
PCT/EP 03/11426



REC'D 12 DEC 2003
WIPO
PCT

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

EPO - DG 1

27. 10. 2003

COPIE OFFICIELLE

46

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 15 OCT. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIETE
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersbourg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

**BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE
page 2/2

BR2

REMISSÉ DES PIÈCES	Réserve à l'INPI
DATE	6 NOV 2002
LIEU	75 INPI PARIS
N° D'ENREGISTREMENT	0214016
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	

DB 540 V 1 210E02

6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)	
Nom DU BOISBAUDRY Prénom Dominique Cabinet ou Société BREVALEX	
N ° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel CPI 95 0304	
Adresse	Rue 3, rue du Docteur Lancereaux
	Code postal et ville 75 008 PARIS
	Pays FRANCE
N ° de téléphone (facultatif) 01 53 83 94 00	
N ° de télécopie (facultatif) 01 45 63 83 33	
Adresse électronique (facultatif) brevets.patents@brevalex.com	
7 INVENTEUR (S)	
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)	
8 RAPPORT DE RECHERCHE	
Établissement immédiat ou établissement différé <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS <input type="checkbox"/>	
Le support électronique de données est joint La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes	
11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)	
 D. DU BOISBAUDRY CPI 950304	
VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI 	

PROCEDE ET DISPOSITIF DE DETERMINATION DE LA
RESISTIVITE DANS UNE FORMATION GEOLOGIQUE TRAVERSEE PAR
UN PUITS TUBE

5

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention concerne la détermination de la résistivité dans une formation géologique traversée par un puits tubé.

L'importance des diagraphies de résistivité pour la prospection pétrolière n'est plus à démontrer. On sait que la résistivité d'une formation dépend essentiellement du fluide qu'elle contient. Une formation contenant de l'eau salée, conductrice, a une résistivité beaucoup plus faible qu'une formation chargée d'hydrocarbures, et par conséquent, les mesures de résistivité ont une valeur irremplaçable pour localiser des gisements d'hydrocarbures. Les diagraphies de résistivité sont pratiquées très largement et depuis longtemps, à l'aide de dispositifs à électrodes, dans les puits non tubés connus sous la dénomination anglo-saxonne de puits « open hole ». La présence dans le puits d'un tubage métallique qui possède une résistivité infime comparée aux valeurs typiques pour les formations géologiques (de l'ordre de $2 \cdot 10^7 \Omega \cdot \text{m}$ pour un tubage en acier contre 1 à $10^3 \Omega \cdot \text{m}$ pour une formation) représente une barrière à l'envoi de courants électriques dans les formations entourant le tubage. La mesure de résistivité dans les puits tubés est d'un intérêt capital lorsqu'elle est

effectuée dans un puits producteur au niveau du gisement. On peut localiser les interfaces eau-hydrocarbures et suivre l'évolution de leur position dans le temps en vue de surveiller le comportement du 5 gisement d'hydrocarbures et d'en optimiser l'exploitation.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Les demandes de brevet FR 2 793 031 et FR 2 10 793 032 notamment décrivent des exemples de procédé pour déterminer la résistivité d'une formation géologique traversée par un puits tubé.

Le demandeur a mis au point un outil de détermination de la résistivité d'une formation 15 géologique au-delà du tubage connu sous la dénomination outil CHFR (abréviation anglo-saxonne de Cased Hole Formation Resistivity pour résistivité de la formation à partir d'un puits tubé) qui est une marque déposée par la société Schlumberger.

Une électrode d'injection de courant fait circuler du courant le long du tubage avec un retour éloigné (par exemple en surface) de manière à permettre une fuite de courant dans la formation traversée par le puits. A une profondeur donnée z , la valeur du courant 20 de fuite I_{for} est inversement proportionnelle à la résistivité R_t de la formation en appliquant la loi d'Ohm :

$R_t(z) = k(V_{z,\infty}/I_{for})$ où $V_{z,\infty}$ représente 25 le potentiel du tubage au niveau z avec une référence à l'infini et k un facteur géométrique qui dépend des conditions de la diagraphie et notamment de la

configuration des électrodes, de la position de l'électrode de retour en surface et des caractéristiques de la colonne de tubage. Le facteur k ne peut qu'être estimé et sa précision n'est souvent 5 pas très bonne.

Une série d'électrodes de tension appliquées contre le tubage permet de faire des mesures de chute de potentiel entre deux électrodes dans des portions du tubage de part et d'autre du niveau z . Ces 10 chutes de potentiel sont fonction du courant de fuite I_{for} et de la résistance des portions de tubage entre les deux électrodes. Une nouvelle mesure de chute de potentiel entre les électrodes, en faisant circuler un courant entre l'électrode d'injection et une électrode 15 de retour dans le tubage au-delà de la série d'électrodes de tension, sans provoquer de fuite dans la formation permet de déterminer la résistance des portions de tubage entre deux électrodes de tension.

Une autre mesure est à effectuer pour 20 déterminer la tension $V_{z,\infty}$ du tubage à la profondeur z considérée par rapport à la référence à l'infini. En envoyant un courant continu dans le tubage à partir de la première électrode d'injection de courant, on mesure la différence de potentiel entre la seconde électrode 25 d'injection et une électrode de référence à l'infini. L'électrode de référence doit donc être la plus éloignée possible du tubage. Elle est généralement placée en surface.

Parfois il n'est pas possible de mesurer 30 avec suffisamment de précision cette tension $V_{z,\infty}$, l'électrode de référence ne peut être placée

suffisamment éloignée du tubage ou le contact électrique entre l'électrode de référence et le sol n'est pas de qualité.

On a été amené à utiliser une formule empirique estimant la résistivité R_t en s'affranchissant de la tension du tubage et en prenant en compte la longueur b du tubage. Cette formule empirique est donnée par :

10 $R_t = k \cdot \operatorname{asinh}(2z/(z-b))/I_{for}$, $\operatorname{asinh}(2z/(z-b))$ correspond à l'arc sinus hyperbolique de la grandeur $2z/(z-b)$.

En plus des difficultés que l'on vient de soulever, il a été observé que les mesures de courant I_{for} souffrent souvent d'un décalage. Ce décalage provient du fait qu'à chaque profondeur ou station de mesure, l'outil effectue deux mesures de courant I_{for} . Cet outil comporte quatre électrodes de mesure de tension placées les unes à côté des autres à des profondeurs différentes. Une première mesure de courant I_{for} se fera à partir des mesures délivrées par les trois électrodes les moins profondes, une seconde mesure de courant I_{for} se fera à partir des mesures délivrées par les trois électrodes les plus profondes. Les signaux mesurés étant très faibles, de petites différences au niveau des deux chaînes de mesure apparaissent liées par exemple à la résistance des fils reliés à ces électrodes. Il est très difficile d'estimer ce courant de décalage.

30 De plus, les mesures de résistivité en puits tubé sont affectées par le ciment que l'on coule entre la paroi extérieure du tubage et la paroi

intérieure du trou foré si la résistivité du ciment est supérieure à la résistivité de la formation. La résistivité du ciment frais peut être connue en laboratoire. On peut connaître la résistivité du ciment 5 frais par des mesures en laboratoire. La résistivité du ciment frais est comprise typiquement dans une gamme allant de un à dix $\Omega \cdot m$. Mais lorsqu'il est en place, le ciment n'est plus accessible directement car il est derrière le tubage. Sa résistivité évolue d'une part 10 avec le temps et d'autre part avec le milieu dans lequel il se trouve. Les mesures de résistivité dans le puits tubé peuvent être faites plusieurs années ou dizaines d'années après la pose du ciment et pendant tout ce temps, on ne sait pas ce que devient le ciment. 15

Le ciment a une porosité de l'ordre de 35% et lorsqu'il est en place, il se produit un échange d'ions entre l'eau contenue dans le ciment et l'eau contenue dans la formation.

Des abaques de correction proposent, pour 20 différentes épaisseurs de la couche de ciment, un facteur de correction à appliquer à la résistivité donnée par l'outil pour obtenir la résistivité de la formation (valeur recherchée) et ce facteur tient compte du rapport entre la résistivité donnée par 25 l'outil et la résistivité du ciment. Ces abaques sont réalisés à partir de modèles mathématiques.

L'épaisseur de la couche de ciment peut être évaluée avec une précision acceptable en connaissant le diamètre extérieur du tubage et le 30 diamètre intérieur du puits avant tubage. Toutefois l'utilisation des abaques ne permet pas de corriger

très efficacement la valeur de la résistivité mesurée de la formation pour obtenir la valeur de la résistivité de la formation. On en obtient qu'une valeur approchée avec une précision médiocre.

5

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention vise à proposer un procédé de détermination de la résistivité d'une formation traversée par un puits tubé qui conduit à une précision bien meilleure que celle des procédés traditionnels. On cherche à mieux évaluer le facteur géométrique k pour améliorer la précision sur la résistivité et à prendre en compte de manière efficace l'effet relatif au ciment et au courant de décalage.

Pour y parvenir la présente invention propose de réaliser au moins une diagraphie en résistivité dans le puits tubé et d'utiliser des résultats d'au moins une diagraphie en puits non tubé effectuée dans le même puits, dans au moins une zone de la formation dans laquelle la résistivité n'a pas changé entre l'état tubé et non tubé pour déduire la valeur d'un facteur géométrique k conditionnant la résistivité et pour déterminer, à l'aide de ce facteur géométrique k et de la diagraphie en puits tubé, la résistivité dans au moins une zone distincte de la zone de calibration, dans laquelle la résistivité a varié entre l'état non tubé et l'état tubé.

Plus précisément la présente invention propose un procédé de détermination, dans une formation géologique traversée par un puits tubé, de la

résistivité au-delà du tubage comportant les étapes suivantes :

5 a) réalisation d'au moins une diagraphie de résistivité de la formation dans le puits non tubé avant tubage,

b) réalisation d'au moins une diagraphie de résistivité de la formation dans le puits tubé à l'aide d'un outil,

10 c) identification d'au moins une zone de la formation dans laquelle la résistivité donnée par la diagraphie en puits tubé et celle donnée par la diagraphie en puits non tubé est restée sensiblement constante,

15 d) construction d'un modèle de la formation par une méthode d'inversion paramétrique à partir de résultats de la diagraphie en puits non tubé, de caractéristiques du puits et du tubage,

e) calcul de la réponse de l'outil audit modèle,

20 f) comparaison entre la réponse de l'outil audit modèle et la diagraphie de résistivité en puits tubé dans la zone de calibration en faisant évoluer, si nécessaire, dans le modèle, un facteur géométrique k conditionnant la résistivité tant que le critère de comparaison n'est pas satisfait,

25 g) déduction du facteur géométrique k du modèle,

h) calcul de la résistivité de la formation à l'aide de la diagraphie de résistivité en puits tubé et d'au moins le facteur géométrique déduit pour au

moins une zone de la formation distincte de la zone de calibration.

Il est préférable, lorsqu'on identifie plusieurs zones de calibration qu'elles aient des 5 résistivités différentes de manière à pouvoir évaluer d'autres paramètres que le facteur k .

La construction du modèle peut se faire de plus avec des résultats de diagraphies de résistivité en puits tubé si on dispose de plusieurs diagraphies de 10 résistivité en puits tubé.

Le procédé peut comporter une étape d'évaluation de la résistivité de ciment introduit entre le tubage et le puits par comparaison entre la réponse de l'outil audit modèle et la diagraphie de 15 résistivité en puits tubé dans une zone de calibration à faible résistivité, en faisant évoluer, si nécessaire, la résistivité du ciment dans le modèle, tant que le critère de comparaison n'est pas satisfait, la résistivité du ciment évaluée étant utilisée dans 20 l'étape h. Cette évaluation se fait notamment lorsque la résistivité du ciment est supérieure à la résistivité de la formation.

Le procédé peut comporter une étape d'évaluation d'un courant de décalage par comparaison 25 entre la réponse de l'outil audit modèle et la diagraphie de résistivité en puits tubé dans une zone de calibration à forte résistivité, en faisant évoluer si nécessaire, dans le modèle, le courant de décalage tant que le critère de comparaison n'est pas satisfait, 30 le courant de décalage évalué étant utilisé dans l'étape h.

Le procédé peut comporter, avant l'étape d, une étape de recalage en profondeur de la résistivité issue de la diagraphie en puits non tubé et de la résistivité issue de la diagraphie en puits tubé pour 5 que ces résistivités recalées correspondent à des profondeurs sensiblement identiques.

Le procédé peut comporter une étape préliminaire d'estimation du facteur géométrique k qui est utile pour obtenir la résistivité issue de la 10 diagraphie de résistivité réalisée en puits tubé.

Le procédé peut comporter une étape préliminaire d'estimation d'un courant de décalage qui est utile pour obtenir la résistivité issue de la diagraphie de résistivité réalisée en puits tubé.

15 Le procédé peut comporter une étape préliminaire d'estimation de la résistivité de ciment introduit entre le tubage et le puits, cette résistivité étant utile pour obtenir la résistivité issue de la diagraphie de résistivité réalisée en puits 20 tubé.

Le modèle peut intégrer une valeur initiale de la résistivité de ciment introduit entre le tubage et le puits.

25 Le modèle peut comporter, lorsque la résistivité de la formation n'est pas homogène, deux régions concentriques ayant des résistivités différentes séparées par une interface, l'une des régions étant proche du puits, l'autre plus éloignée.

30 Le procédé peut comporter de plus, une étape de réalisation d'au moins une diagraphie de section de capture permettant de déduire, en

connaissant la salinité dans la région proche, la résistivité dans la région proche, puis une étape de calcul, à l'aide du modèle, dans au moins une zone distincte de la zone de calibration, de la résistivité 5 dans la région éloignée et de la position de l'interface.

La présente invention concerne également un procédé de détermination de la salinité de l'eau et/ou de la saturation en eau se trouvant dans une formation 10 sensiblement homogène traversée par un puits tubé. Il consiste à réaliser au moins une diagraphie de section de capture dans le puits tubé, et à combiner des résultats de la diagraphie de section de capture avec la résistivité déterminée par le procédé de 15 détermination de la résistivité ainsi défini, pour déterminer la salinité et/ou la saturation.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à 20 la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 montre une diagraphie réalisée 25 en puits non tubé et des diagraphies réalisées en puits tubé, ces diagraphies permettant d'identifier des zones de calibration ;

La figure 2 montre de manière schématique 30 un organigramme relatif au procédé de détermination de la résistivité d'une formation traversée par un puits tubé selon l'invention ;

La figure 3 montre de manière schématique deux régions concentriques de la formation ayant des résistivités différentes.

5 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

On se réfère maintenant à la figure 1 qui montre sous la forme d'une courbe en trait plein des résultats d'une diagraphie de résistivité dans une formation, cette diagraphie ayant été réalisée dans un puits non tubé entre les profondeurs de 8800 pieds (2682 mètres) et 9150 pieds (2788 mètres). La résistivité est représentée avec une échelle logarithmique qui couvre la plage $2 \cdot 10^{-1} \Omega \cdot \text{m}$ à $2 \cdot 10^3 \Omega \cdot \text{m}$. Sur la figure 1, se trouvent des résultats de trois diagraphies de résistivité réalisées successivement à six mois d'intervalle dans le même puits tubé. Ces trois diagraphies sont illustrées par des points noirs, gris et blancs. Sur la figure 1, des zones de calibration 10 sont repérées. Elles correspondent à des zones de la formation dans lesquelles la résistivité est restée sensiblement constante entre les mesures en puits non tubé et les mesures réalisées ultérieurement, à divers moments, en puits tubé. Ces zones de calibration s'étendent entre environ 8880 pieds (2682 mètres) et 8940 pieds (2717 mètres) et entre environ 9020 pieds (2742 mètres) et 9080 pieds (2760 mètres). Elles se trouvent à des profondeurs différentes. De part et d'autre de ces zones de calibration 10 se trouvent des zones 11 dans lesquelles la résistivité a changé entre l'état tubé et

l'état non tubé. Ces zones 11 sont qualifiées dans la suite de zones distinctes des zones de calibration.

On va maintenant examiner les différentes étapes employées pour déterminer la résistivité dans 5 une formation traversée par un puits tubé selon le procédé de l'invention. On se réfère à la figure 2.

On réalise au moins une diagraphie de résistivité en puits non tubé (bloc 21). La réalisation de diagraphie de résistivité en puits non tubé est une 10 technique classique et bien connue dans le domaine pétrolier. Les outils que l'on utilise possèdent des électrodes à partir desquelles ont crée dans la formation des courants galvaniques ou des courants de Foucault. Ces outils donnent à chacune des profondeurs 15 auxquelles sont effectuées les mesures, un ensemble de valeurs de résistivité à cette profondeur pour différentes distances du puits.

On détermine ainsi avec la diagraphie en puits non tubé, lorsque la formation est homogène, 20 c'est à dire que sa résistivité est sensiblement constante à une profondeur donnée quelle que soit la distance du puits, la résistivité R_t .

Si la formation n'est pas homogène, par exemple si de l'eau a été injectée dans le puits lors 25 du forage, on trouve autour du puits, deux régions sensiblement concentriques, la plus proche du puits est envahie de boue de forage et sa résistivité est R_{xo} , la plus éloignée du puits est vierge sa résistivité est R_t et on cherche à connaître son évolution dans le temps. 30 L'interface entre les deux régions se trouve à une

distance di de l'axe du puits foré. La diagraphie en puits non tubé permet de déterminer Rt , Rxo et di .

Ultérieurement on effectue au moins une diagraphie de résistivité en puits tubé à l'aide d'un 5 outil de mesure et d'enregistrement (bloc 22). Cet outil peut être l'outil connu sous la dénomination de CHFR.

Une estimation préliminaire du facteur géométrique k du courant de décalage et/ou de la 10 résistivité du ciment est utile pour obtenir la résistivité de la diagraphie en puits tubé.

Une estimation préliminaire d'un courant de décalage peut être utile pour obtenir la résistivité issue de la diagraphie de résistivité réalisée en puits 15 tubé.

On identifie au moins une zone de calibration 10 (bloc 23). Cette zone va servir à déterminer le facteur géométrique k .

Si plusieurs paramètres autres que le 20 facteur géométrique k sont à déterminer, tels $Rcem$ la résistivité du ciment et $Ioff$ le courant de décalage, il est alors préférable d'identifier plusieurs zones de calibration 10 dans lesquelles la résistivité Rt prend des valeurs différentes.

25 On construit un modèle mathématique de la formation traversé par le puits tubé (bloc 24). Cette construction peut se faire à partir notamment des résistivités mesurées et délivrées par la diagraphie de résistivité effectuée en puits non tubé. On utilise 30 également d'une part les données électriques mesurées en puits tubé et d'autre part des caractéristiques du

puits tubé tels que le diamètre du forage, le diamètre extérieur du tubage ce qui permet de calculer l'épaisseur du ciment. Une valeur initiale de résistivité du ciment est introduite. Elle pourra être 5 ajustée si nécessaire ultérieurement puisque la résistivité du ciment varie dans le temps.

Après avoir réalisé une première diagraphie de résistivité dans le puits tubé, le modèle est construit avec les résultats de la diagraphie de résistivité en puits non tubé. Ensuite si d'autres 10 diagraphies de résistivité sont faites dans le puits tubé, le modèle peut être construit à partir des diagraphies précédentes, c'est à dire des diagraphies en puits non tubé et en puits tubé.

15 Ce modèle des couches constituant la formation traduit la variation de la résistivité de la formation en fonction de la distance à l'axe du forage.

On calcule la réponse que donnerait l'outil appliqué à la formation du modèle (bloc 25).

20 Cette réponse calculée est donnée pour chacune des profondeurs pour lesquelles l'outil a réalisé des mesures lors de la diagraphie en puits tubé. Cette réponse correspond pour une profondeur z donnée, au courant circulant dans la formation et 25 éventuellement à la tension du tubage à cette profondeur.

On compare (bloc 26.1) ensuite, dans une zone de calibration, la résistivité R_t issue du modèle et la résistivité R_t donnée par l'outil lors de la 30 diagraphie en puits tubé. Si ces deux résistivités coïncident, on déduit du modèle une valeur pour le

facteur k . Si il n'y a pas coïncidence, on fait évoluer le modèle par une méthode itérative d'inversion en faisant varier le facteur k jusqu'à obtenir la coïncidence (bloc 27.1).

5 Avec la valeur du facteur k qui est déduite (bloc 28.1), on peut recalculer la valeur de la résistivité R_t dans la formation, dans au moins une zone distincte d'une zone de calibration, c'est à dire une zone dans laquelle la résistivité a changé entre la 10 diagraphie en puits non tubé et la diagraphie en puits tubé (bloc 29). L'ensemble de toutes les zones de calibration et de toutes les zones distinctes des zones de calibration constitue la formation traversée par le puits. Le facteur k est supposé constant sur la 15 totalité de la diagraphie. La valeur de la tension $V_{z,\infty}$ est mesurée ou bien modélisée.

Ces zones de calibration servent donc à ajuster des paramètres de manière que la résistivité R_t donnée par la diagraphie en puits tubé et celle donnée 20 par la diagraphie en puits non tubé soient identiques.

On peut alors mettre à jour le modèle avec les valeurs de résistivité R_t ainsi déterminées (bloc 30).

Si la résistivité du ciment R_{cem} est à 25 prendre en compte, c'est à dire si elle est supérieure à celle de la formation, avant de recalculer la valeur de la résistivité R_t et de mettre à jour le modèle, on compare de nouveau la résistivité donnée par le modèle et la résistivité donnée par l'outil lors de la 30 diagraphie en puits tubé, dans une zone de calibration ayant une résistivité basse (bloc 26.2). Tant qu'il n'y

a pas coïncidence on fait évoluer le modèle comme précédemment en faisant varier R_{cem} (bloc 27.2). La coïncidence est obtenue avec une valeur de R_{cem} qui va être utilisée pour apporter une correction à la valeur 5 de la résistivité R_t (bloc 28.2). Cette valeur de R_{cem} sert à calculer R_t dans au moins une zone distincte d'une zone de calibration et à mettre à jour le modèle. On suppose que la résistivité du ciment est sensiblement constante quelle que soit la profondeur 10 considérée.

Si le courant de décalage I_{off} est à prendre en compte, on effectue de la même manière une comparaison entre la résistivité donnée par le modèle et la résistivité donnée par l'outil lors de la 15 diagraphie en puits tubé, dans une zone de calibration à résistivité élevée (26.3) et on fait varier I_{off} tant que la coïncidence n'est pas obtenue (bloc 27.3). Lorsque la coïncidence est obtenue (bloc 28.3), on en déduit la valeur du courant de décalage I_{off} . On peut 20 alors affiner la valeur de la résistivité R_t en prenant en compte l'effet du courant de décalage I_{off} et mettre à jour le modèle avec ces valeurs. On suppose que la valeur de I_{off} est constante sur toute l'étendue de la diagraphie.

25 Un tel procédé de détermination de la résistivité d'une formation géologique traversée par un puits tubé peut être utilisé pour la détermination de la saturation en eau S_{xo} , de la section de capture de l'eau Σ_{wat} dans la formation et/ou d'autres paramètres 30 qui sont liés à la saturation S_{xo} et à la section de capture Σ_{wat} . De l'eau se trouve inévitablement dans

les formations contenant des hydrocarbures. Une condition est que la formation soit sensiblement homogène, c'est à dire qu'elle possède, pour une même profondeur, une résistivité sensiblement constante 5 aussi bien à proximité du puits que plus loin. Cette connaissance est très intéressante cela permet d'évaluer la quantité d'hydrocarbure restant dans le réservoir.

On réalise au moins une diagraphie de 10 section de capture Σ dans la formation à l'aide d'un outil nucléaire tel que l'outil connu sous la dénomination TDT pour Thermal Decay Time soit temps de décroissance thermique ou sous la dénomination RST pour Reservoir Saturation Tool soit outil de saturation de 15 réservoir, les noms de ces outils sont des marques déposées par la société Schlumberger.

Ces outils comportent un générateur de neutrons de haute énergie à descendre dans le puits tubé et qui est commandé depuis la surface. Ces outils 20 soumettent la formation à une brève émission de neutrons. Les neutrons entrent en collision avec des noyaux des divers éléments présents dans la formation. Ils passent à l'état thermique. Une certaine fraction des neutrons thermiques est absorbée par unité de 25 temps. On déduit la section efficace de capture Σ (en $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ appelée unité de capture ou unité sigma) à partir du temps intrinsèque de décroissance qui correspond au temps nécessaire pour qu'un nombre initial de neutrons thermiques dans la formation soit 30 divisé par e (nombre de Neper). Cette section efficace est en fait normalisée à un volume d'un centimètre cube

et donc exprimée en cm^2/cm^3 . On utilise comme détecteur un compteur à scintillation réglé pour être sensible aux rayons de basse énergie.

Lorsque la formation est homogène, la 5 diagraphie de résistivité et celle de la section de capture Σ répondent aux mêmes paramètres de la formation et notamment à une même saturation en eau S_{XO} et une même salinité en eau Σ_{w} . Les valeurs de ces deux 10 paramètres peuvent être déduites en fonction de la profondeur.

Par contre lorsque la formation n'est pas homogène, les deux diagraphies correspondent à des valeurs différentes de saturation en eau. En effet, les outils de mesure électrique permettent de faire des 15 investigations loin du forage par exemple de l'ordre d'un ou deux mètres alors que les outils de mesure nucléaire n'atteignent que quelques dizaines de centimètres. Cette inhomogénéité s'observe notamment lorsque la formation contient une poche d'eau. Cette 20 eau a pu être injectée depuis la surface, notamment pour déplacer les hydrocarbures vers un puits de production. Cela permet d'estimer la quantité d'hydrocarbures dans la formation.

On peut alors définir à une profondeur 25 donnée, dans la formation, deux régions sensiblement concentriques consécutives 15, 20 qui ont des résistivités différentes. La région 15 se trouve à proximité du puits 1 foré, elle possède une résistivité R_{XO} . La région 20 est plus éloignée du puits, elle 30 possède une résistivité R_t . De telles régions sont représentées schématiquement sur la figure 3.

L'interface 31 entre la région 15 et la région 20 se trouve à une distance d_1 de l'axe XX' du puits 1 foré. Du ciment 3 de résistivité R_{cem} est inséré entre le tubage référencé 2 et le puits 1 foré.

5 On suppose connaître la salinité de l'eau qui se trouve dans la région proche 15 et dans la région lointaine 20. Cette connaissance peut se faire à partir de l'analyse d'échantillons rocheux prélevés dans les deux régions.

10 Dans un réservoir poreux à hydrocarbures contenant de l'eau, la réponse en section de capture de l'outil nucléaire s'exprime de la manière suivante :

$$\Sigma_{log} = \Phi S_w \Sigma_w + \Phi (1 - S_w) \Sigma_h + V_{mat} \Sigma_{mat}$$

15 Avec Φ porosité de la formation dans la région proche 15, S_w saturation en eau dans la région proche, Σ_w section de capture de l'eau dans la région proche, Σ_h section de capture des hydrocarbures, V_{mat} fraction de volume occupé par la roche par rapport au volume total de la formation, Σ_{mat} section de capture 20 de la roche.

Les paramètres Φ , Σ_h , V_{mat} , Σ_{mat} sont supposés être connus de la diagraphie en résistivité effectuée en puits non tubé ou d'autres observations faites lors de la construction du modèle de 25 résistivité. La connaissance de Σ_w provient de l'analyse d'échantillons.

A partir de la diagraphie en section de capture, on déduit S_w . A partir de la salinité de l'eau dans la région proche 15, on déduit la résistivité R_{xo} 30 dans la région proche.

Dans le modèle défini précédemment, on a introduit les deux régions 15, 20 radiales et la valeur de la résistivité proche R_{x0} .

On peut en déduire la valeur de la résistivité R_t et la valeur de la distance d_i dans les zones distinctes des zones de calibration.

Bien qu'un certain mode de réalisation de la présente invention ait été représenté et décrit de façon détaillée, on comprendra que différents changements et modifications puissent être apportés sans sortir du cadre de l'invention, notamment l'ordre 10 des étapes du procédé n'est pas impératif.

REVENDICATIONS

1. Procédé de détermination, dans une formation géologique traversée par un puits tubé, de la résistivité au-delà du tubage comportant les étapes suivantes :

- a) réalisation (21) d'au moins une diagraphie de résistivité de la formation dans le puits non tubé avant tubage,
- 10 b) réalisation (22) d'au moins une diagraphie de résistivité de la formation dans le puits tubé à l'aide d'un outil,
- 15 c) identification (23) d'au moins une zone de la formation dans laquelle la résistivité donnée par la diagraphie en puits tubé et celle donnée par la diagraphie en puits non tubé est restée sensiblement constante,
- 20 d) construction (24) d'un modèle de la formation par une méthode d'inversion paramétrique à partir de résultats de la diagraphie en puits non tubé et de caractéristiques du puits et du tubage,
- e) calcul (25) de la réponse de l'outil audit modèle,
- 25 f) comparaison (26.1) entre la réponse de l'outil audit modèle et la diagraphie de résistivité en puits tubé dans la zone de calibration en faisant évoluer, si nécessaire, dans le modèle, un facteur géométrique k conditionnant la résistivité tant que le critère de comparaison n'est pas satisfait,
- 30 g) déduction (28.1) du facteur géométrique k du modèle,

h) calcul (29) de la résistivité de la formation à l'aide de la diagraphie de résistivité en puits tubé et d'au moins le facteur géométrique déduit pour au moins une zone de la formation distincte de la 5 zone de calibration.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lorsque plusieurs zones de calibration sont déterminées, elles ont des 10 résistivités différentes.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte une étape d'évaluation de la résistivité (R_{cem}) d'un ciment introduit entre le 15 tubage et le puits par comparaison entre la réponse de l'outil audit modèle et la diagraphie de résistivité en puits tubé dans une zone de calibration à faible résistivité, en faisant évoluer, si nécessaire, la résistivité du ciment dans le modèle, tant que le 20 critère de comparaison n'est pas satisfait, la résistivité du ciment évaluée étant utilisée dans l'étape h.

4. Procédé selon l'une des revendications 2 25 ou 3, caractérisé en ce qu'il comporte une étape d'évaluation d'un courant de décalage (I_{off}) par comparaison entre la réponse de l'outil audit modèle et la diagraphie de résistivité en puits tubé dans une zone de calibration à forte résistivité, en faisant 30 évoluer si nécessaire, dans le modèle, le courant de décalage tant que le critère de comparaison n'est pas

satisfait, le courant de décalage évalué étant utilisé dans l'étape h.

5. Procédé selon l'une des revendications 1
5 à 4, caractérisé en ce que la construction du modèle se fait en outre avec des résultats de diagraphies de résistivité en puits tubé si on dispose de plusieurs diagraphies de résistivité en puits tubé.

10 6. Procédé selon l'une des revendications 1
à 5, caractérisé en ce qu'il comporte, avant l'étape d, une étape de recalage en profondeur de la résistivité issue de la diagraphie en puits non tubé et de la résistivité issue de la diagraphie en puits tubé pour
15 que ces résistivités recalées correspondent à des profondeurs sensiblement identiques.

7. Procédé selon l'une des revendications 1
20 à 6, caractérisé en ce qu'il comporte une étape préliminaire d'estimation du facteur géométrique k qui est utile pour obtenir la résistivité issue de la diagraphie de résistivité réalisée en puits tubé.

25 8. Procédé selon l'une des revendications 1
à 7, caractérisé en ce qu'il comporte une étape préliminaire d'estimation d'un courant de décalage (Ioff) qui est utile pour obtenir la résistivité issue de la diagraphie de résistivité réalisée en puits tubé.

30 9. Procédé selon l'une des revendications 1
à 8, caractérisé en ce qu'il comporte une étape

préliminaire d'estimation de la résistivité de ciment (Rcem) introduit entre le tubage et le puits, cette résistivité étant utile pour obtenir la résistivité issue de la diagraphie de résistivité réalisée en puits 5 tubé.

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le modèle intègre une valeur initiale de la résistivité (Rcem) de ciment 10 introduit entre le tubage (1) et le puits (2) ..

11. procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le modèle comporte deux régions concentriques (15, 20) ayant des résistivités 15 différentes séparées par une interface (31), l'une des régions étant proche du puits, l'autre plus éloignée.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de 20 réalisation d'au moins une diagraphie de section de capture permettant de déduire, en connaissant la salinité dans la région proche, la résistivité (Rxo) dans la région proche, puis une étape de calcul, à l'aide du modèle, dans au moins une zone distincte de 25 la zone de calibration, de la résistivité dans la région éloignée (Rt) et de la position de l'interface (di) .

13. Procédé de détermination de la salinité 30 de l'eau et/ou de la saturation en eau se trouvant dans une formation sensiblement homogène traversée par un

puits tubé, caractérisé en ce qu'il consiste à réaliser une diagraphie de section de capture dans le puits tubé, et à combiner les résultats de la diagraphie de section de capture avec la résistivité déterminée par 5 le procédé selon l'une des revendications 1 à 11, pour déterminer la salinité et/ou la saturation.

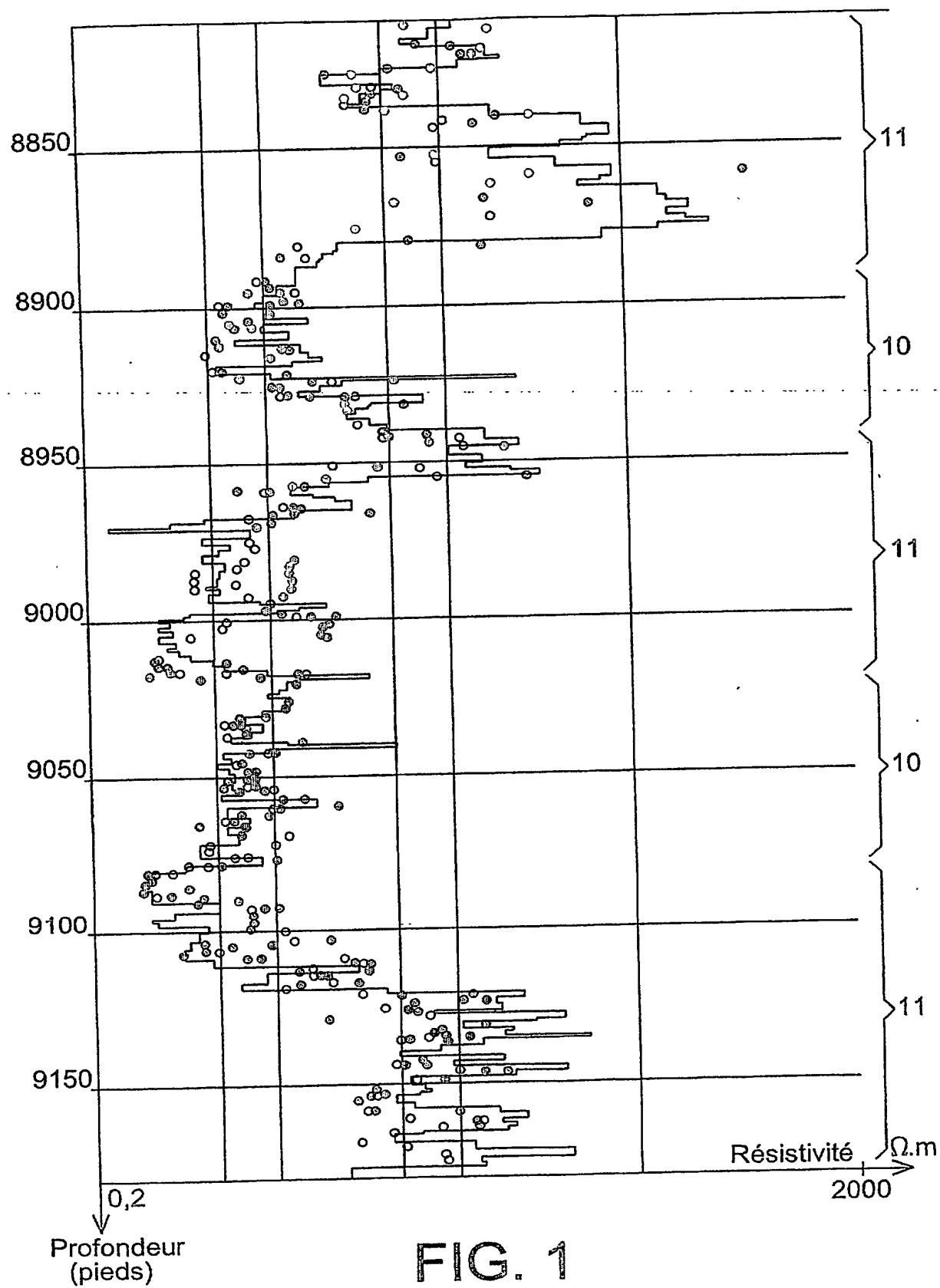


FIG. 1

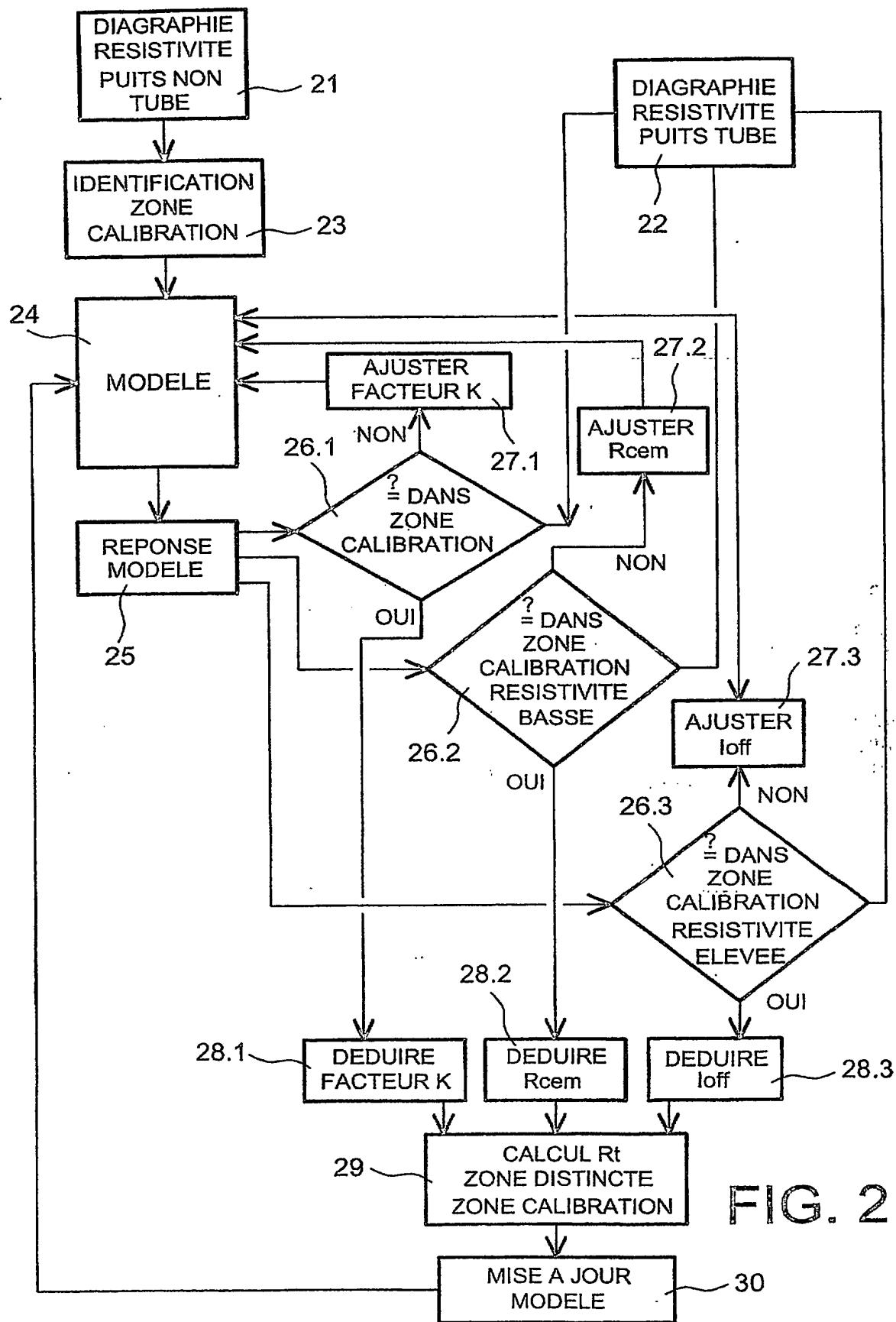


FIG. 2

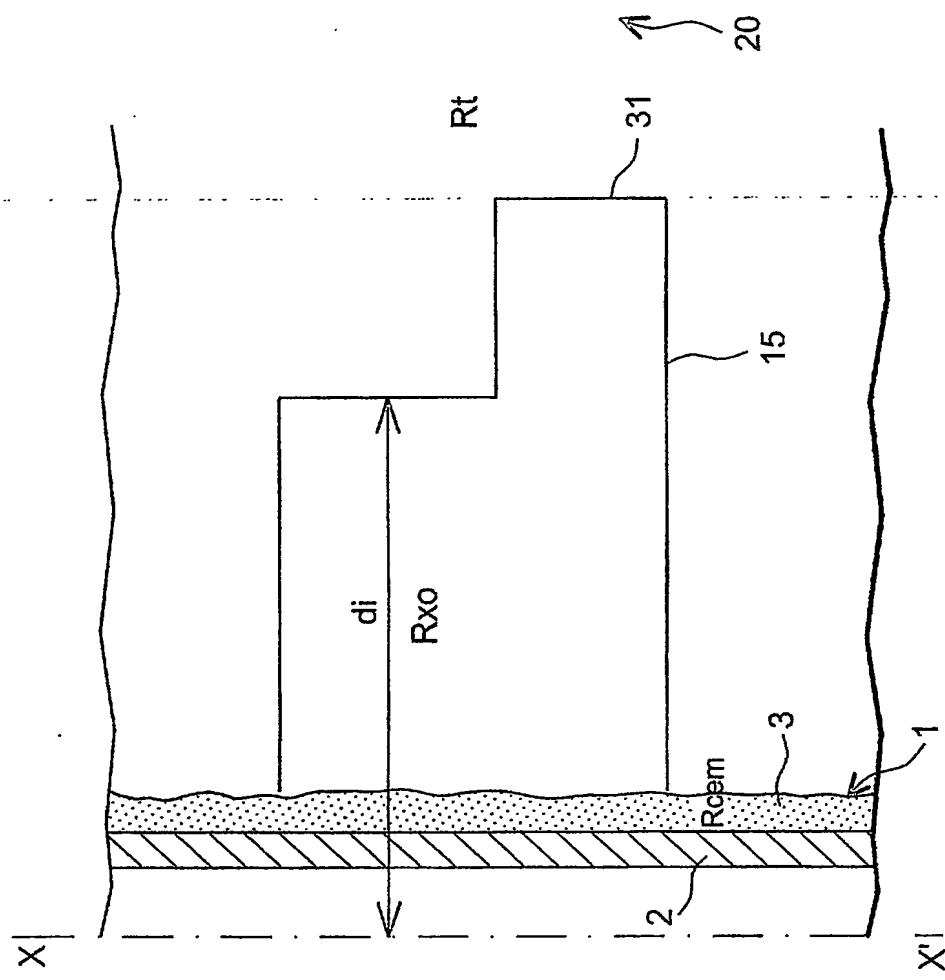


FIG. 3

DÉPARTEMENT DES BREVETS

 26 bis, rue de Saint Pétersbourg
 75800 Paris Cedex 08
 Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



 N° 11235°03

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1.../1...
INV

 (À fournir dans le cas où les demandeurs et
 les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 C W / 270501

Vos références pour ce dossier (facultatif)		SP 20713/CS
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0214016
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)		
PROCEDE ET DISPOSITIF DE DETERMINATION DE LA RESISTIVITE DANS UNE FORMATION GEOLOGIQUE TRAVERSEE PAR UN PUITS TUBE		
LE(S) DEMANDEUR(S) :		
SRVICES PETROLIERS SCHLUMBERGER 42 rue St Dominique 75007 PARIS		
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :		
1 Nom		DUBOURG
Prénoms		Isabelle
Adresse	Rue	27 rue D'effiat
	Code postal et ville	9 1 3 8 0 CHILLY- MAZARIN
Société d'appartenance (facultatif)		
2 Nom		FAIVRE
Prénoms		Olivier
Adresse	Rue	170 rue du Temple
	Code postal et ville	7 5 0 0 3 PARIS
Société d'appartenance (facultatif)		
3 Nom		ROUAULT
Prénoms		Gilles
Adresse	Rue	15 rue Gambetta
	Code postal et ville	9 2 1 0 0 BOULOGNE
Société d'appartenance (facultatif)		
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.		
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE <i>(Nom et qualité du signataire)</i>		
PARIS LE 08 NOVEMBRE 2002 D. DU BOISBAUDRY		

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.